

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента д.т.н., профессора Громова Юрия Юрьевича на  
диссертационную работу  
Кувшиновой Ольги Александровны «Методы и алгоритмы распределения  
информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов  
изображения и его программная реализация»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы

### **Актуальность и научная значимость**

Проблематика, к которой обращена диссертационная работа Кувшиновой О.А., привлекает внимание исследователей на протяжении длительного времени, что обусловлено ее практической значимостью для системы подготовки летчиков. Одним из ключевых направлений в этой области является повышение квалификации летчиков за счет расширения числа учебных ситуаций при полете на авиационном тренажере (АТ), в рамках которых управляемая летчиком информационная модель летательного аппарата (ЛА) перемещается в информационной модели внешней среды.

В настоящее время обучение решению большинства навигационных задач с ориентацией по визуально наблюдаемым реперным объектам возможно лишь в процессе посадки на видимую 3D-модель взлётно-посадочной полосы на пилотажных и комплексных АТ с визуальной ориентацией по размещённым рядом 3D-моделям реперных объектов. В этом случае, при разработке 3D-модели района полётов в его центральной части размещают 3D-модель взлётно-посадочной полосы и 3D-модели реперных объектов. Их количество зависит от производительности программно-аппаратного генератора изображений (ПА ГИ). Разработчики 3D-модели района полётов размещают в центре 3D-модель ВПП

(эксперименты показали, что для этого используют не более 780 3D-полигонов), далее вокруг 3D-модели ВПП размещают 3D-модели реперных объектов до тех пор, пока время их синтеза не превышает цикл режима реального времени (цикл 80 мс). Площадь 3D-модели центрального участка, где размещены указанные 3D-модели ВПП и 3D-модели реперных объектов, обычно составляет 15×15 км. При полётах на авиационном тренажёре над центральным участком 3D-модели района полётов лётчик может решать задачи пилотирования летательного аппарата и решать навигационные задачи как по показаниям имитаторов приборов радиотехнических средств самолётовождения, так и визуально ориентируясь по видимым 3D-моделям реперных объектов. При вылете за пределы центрального участка моделируется «вход в сплошную облачность», после чего лётчик может решать навигационные задачи только по показаниям имитаторов приборов радиотехнических средств самолётовождения.

Ограниченная производительность ПА ГИ не позволяет размещать по всей 3D-модели района полётов 3D-модели реперных объектов, наблюдая которые лётчик может решать навигационные задачи при полётах на авиационном тренажёре в любом направлении. Для решения этой задачи предлагалось оперативно в режиме реального времени перераспределять ресурсы ПА ГИ и синтезировать для лётчика участки 3D-модели района полётов в зависимости от заданной дальности видимости. Однако более перспективным направлением является распределение ресурсов ПА ГИ на этапе разработки всех 3D-моделей реперных объектов и размещения их на участках-сегментах 3D-модели района полётов. Тогда в процессе синтеза видимой части 3D-модели района полётов обрабатываются только близлежащие сегменты, дальние сегменты с размещёнными внутри них 3D-моделями реперных объектов, при данном положении подвижного наблюдателя не обрабатываются. Это позволяет разместить в каждом сегменте 3D-модели района полётов 3D-модели реперных объектов, набранных из визуальных и управляющих 3D-примитивов, и позволяющих

лётчику решать навигационные задачи с ориентацией по визуально наблюдаемым 3D-моделям реперных объектов. Так как в каждый цикл режима реального времени обрабатывается незначительное число сегментов с размещёнными внутри них 3D-моделями реперных объектов, общее число 3D-моделей реперных объектов, размещённых по всей 3D-модели района полётов, будет превышать число 3D-моделей реперных объектов, размещённых около 3D-модели ВПП при традиционном методе разработки 3D-модели района полётов.

Отсутствие методов и алгоритмов распределения информационных ресурсов ПА ГИ по всей площади района полётов не позволяло эффективно обучать лётчика решению навигационных задач при полёте по маршруту с визуальной ориентацией по 3D-моделям реперных объектов, несмотря на требование Заказчика обучать на авиационном тренажере лётчика и пилотированию, и решению навигационных задач при полетах над 3D-моделью заданного участка местности размером от 400×400 км до 1500×1500 км.

Программное обеспечение всех ПА ГИ предусматривает использование управляющих 3D-примитивов типа «охватывающая сфера», которые могут быть использованы для распределения ресурсов ПО ГИ. Они работают как «условный оператор» в программировании. Каждый сегмент 3D-модели района полётов заключатся в такую «охватывающую сферу», внешним видом которой может быть или квадрат, или прямоугольный треугольник. Первоначально вся 3D-модель района полётов является «нулевым сегментом», внутри которого заданы общие условия синтеза изображений 3D-моделей реперных объектов: положение модели солнца, погодные условия и т.д.. Вся 3D-модель района полётов делится на сегменты первого уровня, и каждому такому сегменту соответствует определённая запись в базе данных ПА ГИ, описанная как «охватывающая сфера по дальности». При нахождении центра «охватывающая сфера по дальности» ближе заданной дистанции наблюдения, соответствующая запись активизируется и

начинается синтез изображений 3D-моделей реперных объектов, которые размещены внутри неё. В противном случае эта запись не активна и размещённые внутри неё 3D-модели реперных объектов хранятся до тех пор, пока не изменится положение подвижного наблюдателя, и данная запись не станет активной.

Эти охватывающие сферы могут быть использованы для решения задач распределения ресурса ПА ГИ. В работе показано, что 3D-модель района полетов изначально делится на сегменты первого уровня, которые могут делиться на сегменты второго уровня и дальше. Деление сегментов первого уровня на сегменты второго и последующего уровней в диссертации не рассматривается.

В рамках настоящего исследования диссертантом поставлена задача оптимального распределения ресурсов ПА ГИ в сегментах первого уровня. Это позволит расширить количество учебных ситуаций, добавив к уже существующим учебным ситуациям, позволяющим обучать лётчиков пилотированию летательного аппарата, ещё обучать решению навигационных задач при полетах на авиационном тренажёре в любых направлениях, что делает данную работу актуальной.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 136 страницах. Диссертация содержит 56 рисунков и 10 таблиц. Список литературы содержит 102 наименования и два приложения,

**Во введении** представлена актуальность исследования, поставлены цель и задачи, дана общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертации представлен развернутый анализ существующих отечественных и зарубежных методов и алгоритмов, применяемых для распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображений в сегментах первого уровня, на

которые поделена 3D-модель района полетов. Диссертантом последовательно рассмотрены известные способы предварительного распределения информационных ресурсов ПА ГИ: методы адаптивной сегментации, позволяющие на этапе разработки базы данных для ПА ГИ распределить его ресурсы, чтобы в зависимости от текущего положения летчика, время синтеза видимой части 3D-модели района полётов не превышало цикл режима реального времени; методы иерархического кодирования (включая вложенные сегменты и квадродеревья), эффективные при работе со сложными, зашумленными данными и обеспечивающие контроль над процессом визуализации на различных уровнях детализации. Выявлено, что выбор конкретного метода или их комбинации определяется спецификой решаемой задачи: методы предварительного распределения ресурсов являются незаменимыми при жестких требованиях к вероятности распознавания размещённых в заданной точке виртуального пространства 3D-моделей реперных объектов; адаптивная сегментация и иерархическое кодирование наиболее эффективны в условиях ограниченных вычислительных ресурсов для ПА ГИ, синтезирующих ночное изображение 3D-модели района полётов.

На основе проведенного аналитического обзора диссертантом обоснована ключевая задача диссертационного исследования – разработка метода распределения ресурсов ПА ГИ, обеспечивающего равномерное распределение информационных ресурсов в сегментах первого уровня.

**Во второй главе** обоснованно ставится задача расширения функциональных возможностей авиационных тренажёров за счёт дополнения традиционного обучения лётчиков навыкам пилотирования летательного аппарата дополнительно навыкам формирования у лётчиков компетенций в решении навигационных задач. Для её решения диссертантом предложено иерархическое деление района полётов, при котором весь район (нулевой сегмент) последовательно делится на сегменты первого уровня, которые могут делиться на сегменты второго уровня и последующих порядков. В

рамках настоящего исследования рассматривается распределение ресурсов ПА ГИ именно на уровне сегментов первого уровня, что методически обосновано.

Предложенный метод позволяет отобрать сегменты первого уровня с информацией о размещённых внутри них 3D-моделях реперных объектов, подлежащих обработке, если их площадь пересекается со следом пирамиды видимости при текущем положении наблюдателя. Это позволяет разработать структуру базы данных ПА ГИ, когда каждая её запись содержит информацию о 3D-моделях реперных объектов, описанных с помощью визуальных и управляющих 3D-примитивов, принадлежащих конкретному сегменту первого уровня. Таким образом, деление 3D-модели района полётов на сегменты первого уровня, каждый из которых описан управляющим 3D-примитивом «охватывающая сфера», формирует структуру базы данных ПА ГИ. Это позволяет на первом этапе синтеза изображения, перебрав все записи в базе данных ПА ГИ, отобрать только те, которые должны быть активизированы при данном положении подвижного наблюдателя. Из этих активных записей извлекаются управляющие и визуальные 3D-примитивы, из которых набраны 3D-модели реперных объектов, которые при данном положении подвижного наблюдателя должны быть видны. Активизация сегмента происходит, если площадь пирамиды видимости пересекает или касается площади рассматриваемого сегмента

**В третьей главе** отмечается, что синтез 3D-моделей реперных объектов осуществляется ПА ГИ, который обладает ограниченной производительностью. В связи с этим размещение 3D-моделей реперных объектов предполагает предварительное распределение ресурсов ПА ГИ по всему заданному району полетов так, чтобы при полётах в любом направлении всегда видеть максимально возможное число реперных объектов и не превысить обработку информации в заданный цикл режима реального времени.

максимально возможное время на его обработку, что позволяет конструкторам и программистам разрабатывать 3D-модели реперных объектов, размещённых в каждом сегменте первого уровня, внешний вид которых удовлетворяет Заказчика, с учётом, что общее время их синтеза не превысит время цикла режима реального времени.

Экспериментальная часть работы выстроена логично: последовательно проверяется работоспособность предложенного метода распределения информационных ресурсов, оценивается влияние выбора размера сегмента на производительность ПА ГИ, а также подтверждается возможность увеличения общего числа размещаемых 3D-примитивов за счет оптимального структурирования базы данных, по сравнению с традиционным методом разработки 3D-модели района полётов без его деления на сегменты. Полученные результаты демонстрируют, что применение разработанного метода позволяет при любом положении подвижного наблюдателя, в режиме реального времени получать максимально насыщенное отдельными 3D-моделями реперных объектов видимую часть 3D-модели района полётов, при использовании известных типов ПА ГИ.

В заключении диссертации приведены основные выводы по работе, полученные новые результаты и пути их развития.

В приложении 1 приведены акты внедрения в производство и использования результатов в учебном процессе в технических вузах.

В приложении 2 приведены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна и достоверность результатов диссертации

Можно выделить следующие основные научные результаты:

1. Метод распределения информационных ресурсов программно-аппаратного генератора изображения, отличающийся оригинальным вариантом деления информационной модели района полетов на практически

важные сегменты первого уровня за минимизированное время, с описанием 3D-моделей реперных объектов, что позволило уже на этапе формирования базы данных программно-аппаратного генератора изображения задать предложенное правило распределения информационных ресурсов программно-аппаратного генератора изображения на площади 3D-моделей сегментов первого уровня.

2. Метод формирования структуры базы данных программно-аппаратного генератора изображения с описанием 3D-моделей реперных объектов, отличающийся тем, что задает предложенное правило задания структуры базы данных программно-аппаратного генератора изображения в зависимости от деления 3D-модели района полётов на сегменты первого уровня, что позволяет на первом этапе синтеза изображения видимой части 3D-модели района полётов в режиме реального времени отсечь информацию о 3D-моделях реперных объектов, которые в данный момент не видны.

3. Методика расчёта ресурсов ПА ГИ с использованием методов теории оптимизации увеличивает количество обрабатываемых 3D-примитивов, при размере 3D-модели района полётов 400×400 км, дальности видимости 60 км и использования ПА ГИ «Альбатрос» в 7,5 раз, по сравнению с традиционным методом разработки 3D-модели района полётов, когда в центре размещается 3D-модель ВПП и количество размещаемых рядом с ней 3D-моделей реперных объектов до тех пор, пока не происходит превышение цикла режима реального времени, при использовании ПА ГИ «Poligon<sup>TM</sup>» и 3D-модели района полётов размером 1500×1500 км, количество обрабатываемых 3D-примитивов увеличивается в 50 раз.

4. Апробация алгоритма Гомори показала, что оптимальный размер сегментов первого уровня 10×10 км при дальности видимости 60 км, размере 3D-модели района полётов 1500×1500 км и использовании ПА ГИ «Poligon<sup>TM</sup>», при этом время обработки всех 3D-примитивов, размещённых внутри сегмента первого уровня составляет – 65 мс.

Достоверность результатов диссертации подтверждается экспериментально, а также свидетельствами о государственной регистрации программ и публикациями в журналах из перечня ВАК (7 статей), Scopus и WoS (4 статьи). Корректность методов и обоснованность выводов подтверждается формулами, таблицами и графиками.

#### Практическая ценность и внедрение

Результаты диссертации нашли практическое применение: они внедрены в АО «НПП «Рубин» (г. Пенза) для формирования оперативной 3D-обстановки в тренажёрах, использованы в учебных программах Пензенского государственного технического университета, а также реализованы при выполнении исследований в рамках гранта Российского научного фонда.

Текст диссертации изложен технически грамотным языком, подробно иллюстрирован примерами. Каждая глава диссертации завершается выводами. Заключение отображает общие итоги и результаты исследований.

Автореферат соответствует содержанию диссертации: в нём сформулированы цели и задачи исследования, отражены научная новизна, практическая значимость и основные результаты работы.

#### Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует пунктам 1, 6 паспорта специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы:

Пункт 1. Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения.

Пункт 6. Обеспечение информационных систем и процессов, применение информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления.

## Общие замечания

В качестве недостатков диссертационной работы считаю необходимым отметить следующее:

1. Вероятно, следовало более убедительно указать цель диссертационной работы как синтез в режиме реального времени максимально допустимого числа 3D-моделей реперных объектов, наблюдаемых при любом положении подвижного наблюдателя, учитывая, что время обработки всех моделей реперных объектов, размещенных на 3D-модели района полетов, без его деления на сегменты первого уровня, превышает цикл режима реального времени, однако предложенные метод и методика позволяют исключить этот нежелательный эффект.

2. В автореферате слабо представлены отличительные признаки научной новизны, хотя в тексте работы они присутствуют.

3. Согласно паспорту специальности отсутствуют требования к разработке программного обеспечения, однако предложенная методика деления модели района полетов на сегменты первого уровня оптимального размера позволяет программистам описывать 3D-модели реперных объектов и не допускать превышения времени, отведённого на синтез их изображений в режиме реального времени, используя конкретные программно-аппаратные генераторы изображения, зная размер 3D-модели полётов и заданную дальность видимости.

4. Ни в тексте диссертации ни в автореферате не раскрыто одно из основных положений данной работы, почему вся 3D-модель района полётов делится на одинаковые по размеру и форму сегменты первого уровня, нет объяснений – в каких случаях в сегменты первого уровня вкладываются сегменты второго и последующего уровней и почему эти сегменты должны быть в виде квадратов.

5. В параграфе «**1.3. Анализ методов оптимизации для распределения примитивов в сегменте первого уровня**» не достаточно обоснован выбор алгоритма Гомори для расчёта размера максимально

возможного времени обработки сегментов первого уровня, которые должны быть квадратными, в то время как большинство программно-аппаратных генераторов изображения используют сегменты первого уровня в виде треугольника.

6. В параграфе «**1.5. Применение оптико–программно-аппаратных комплексов в авиационных тренажёрах для распределения информационных ресурсов в 3D-модели районов полетов**» имеется нерасшифрованное понятие, почему «Имитатор визуальной обстановки – это эргатические программно-аппаратные комплексы, позволяющие человеку видеть 3D-объект и при этом профессионально тренировать свой глазомер», так как программно-аппаратные генераторы изображения синтезирует на плоскости подключённого к нему экрана 2D-проекции 3D-моделей.

Указанные замечания не снимают в целом научной значимости результатов, полученных Кувшиновой О. А. в диссертационной работе.


### **Заключение**

Диссертационная работа Кувшиновой О.А. является завершённой научно-квалификационной работой, соответствующей научной специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы. В работе решена важная научная задача: распределение информационных ресурсов ПА ГИ и определения количества 3D-моделей реперных объектов, охватывающих всю модель района полётов.

Считаю, что представленная к защите диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Кувшинова Ольга Александровна, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и защита информации

Громов Юрий Юрьевич

  
6.05.2026

Докторская диссертация защищена по специальности

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами=,

e-mail gromovtambov@yandex.ru,

тел. (4752) 63-13-58

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Адрес: г. Тамбов, ул. Советская, д. 116

Тел. (4752) 63-10-19, E-mail: tstu@tstu.ru



С отзывом ознакомлена  
8.05.2026 Кузнец