

А.И. ФРОЛОВ, Д.П. САННИКОВ, П.П. АВРАШКОВ, М.А. МАРОЧКИН, В.Д. ШОРИН,
В.С. ИГНАЧЕВ, Д.С. ИГНАЧЕВ, М.А. САПУНОВ, Ю.В. ПЕТРОВ, С.А. РУДЫКА

ПРОГРАММНЫЙ ИМИТАТОР ЗАКАБИННОГО ПРОСТРАНСТВА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

В статье рассматриваются вопросы синхронного моделирования функционирования разноспектральных датчиков летательного аппарата в процессе его пролета над заданной местностью. Приводится описание способа моделирования на основе применения программного имитатора закабинного пространства. Выполнена формулировка задачи имитации закабинного пространства. Предложена архитектура программного обеспечения имитатора закабинного пространства. Определены методы моделирования функционирования камер видимого, SWIR и LWIR диапазонов, лазерного и радио-локаторов.

Ключевые слова: летательный аппарат; закабинное пространство; имитация; моделирование; информационно-измерительная аппаратура; модель местности; модель пролета.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед современным воздушным транспортом стоит множество различных задач: от транспортировки грузов до осуществления поисковых операций. При этом на успешность их проведения огромное влияние оказывают погодные условия, условия видимости, которые часто становятся причиной происшествий и катастроф.

Одним из возможных способов повышения безопасности при выполнении работ в сложных погодных условиях, условиях недостаточной видимости или низкой освещенности является оснащение летательных аппаратов комплексами информационно-измерительного оборудования, в состав которых может входить несколько различных датчиков. Такие системы могут служить для помощи экипажу в быстром принятии решений в экстремальной обстановке и включать в себя технические средства для определения типа местности при посадке на необорудованные площадки, зондирования толщины слоя снега и льда, лазерно-локационного сканирования с целью обнаружения малозаметных препятствий в сложных метеорологических условиях [1].

При том что сейчас активно ведутся теоретические исследования и практические разработки подобных комплексов [2, 3], их тестирование и настройка затрудняется необходимостью установки оборудования и проведения летных испытаний для получения определенного набора данных и оценки корректности работы датчиков.

Решением этой проблемы может служить использование программных средств для имитации реальных действий летательного аппарата и получения данных с виртуальных датчиков [4, 5].

Стоит отметить, что сейчас в авиации широко распространены различные симуляторы, способные моделировать и воспроизводить действия воздушных транспортных средств и используемые, например, для подготовки пилотов. Однако вышеописанная проблема, несмотря на ее актуальность, не рассматривалась в контексте создания специализированного программного обеспечения – имитатора закабинного пространства с возможностью синхронного моделирования функционирования разноспектральных датчиков.

В данной статье приводятся результаты работ по формулировке задачи имитации закабинного пространства и принципиальных архитектурных и функциональных решений в части построения специального программного обеспечения имитатора закабинного пространства.

Работа проведена в ОГУ им. И.С. Тургенева в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 №218 (ПРОЕКТ 218) в рамках НИОКТР, выполняемой при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 074-11-2018-025 от 13.07.2018). Головной исполнитель НИОКТР – ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

ЗАДАЧА ИМИТАЦИИ ЗАКАБИННОГО ПРОСТРАНСТВА

Процесс имитации закабинного пространства декомпозируется на три последовательные задачи:

- моделирование местности;
- моделирование пролета летательного аппарата (ЛА);
- моделирование функционирования датчиков.

Под *моделированием местности* понимается:

- конструирование в интерактивном режиме подстилающей поверхности заданного типа(ов);
- расположение на подстилающей поверхности и задание параметров различных объектов;
- определение параметров окружающей среды (освещенности и погодных условий, включая температуру, туман, осадки);
- генерация трехмерной модели окружающей местности.

Подстилающая поверхность характеризуется гладкостью (равнинная, холмистая, гористая) и видом: поле; лес; кустарник; болото; скальный грунт; водная поверхность (характеризуется волнением и глубиной). Выделяется два вида покрытия подстилающей поверхности: ледяная поверхность; снежный покров (характеризуются толщиной).

Объекты для размещения на сцене должны быть доступны в библиотеке. Виды объектов (базовый перечень – возможно дополнение): отдельно стоящее здание; опоры и провода линий электропередач различной толщины; дымовая труба; мачта; грузовой и легковой автомобили; человек и группа людей; плот ПСН-10 (для водных поверхностей).

Подстилающие поверхности и объекты кроме традиционных для симуляторов свойств характеризуются температурой и радиолокационной отражающей способностью.

Должна быть обеспечена возможность имитации следующих метеорологических явлений (с регулируемой интенсивностью) при наблюдении моделируемой местности: туман; дождь; снегопад. Освещенность должна настраиваться путем задания источника света (солнце или луна) и интенсивности освещения.

Моделирование пролета летательного аппарата заключается в генерации требуемой для эксперимента траектории пролета (набора точек) и имитации движения ЛА по ней с фиксацией в каждой из точек следующего набора параметров: положение в пространстве (3 координаты); проекции вектора скорости на оси системы координат; ориентация (3 угла: курс, крен, тангаж); угловые скорости.

Генерация траектории осуществляется по нескольким (2 и более) заданным ключевым точкам. Результирующая траектория представляется набором точек положения центра масс ЛА с интервалом кратным 20 мс.

Моделирование функционирования датчиков (камер) заключается в синхронной генерации в каждой точке траектории модельной выходной информации каждого из датчиков. Для каждого датчика должны задаваться общие характеристики, такие как смещение точки крепления относительно центра масс, ориентация в пространстве, так и специфические, такие как углы обзора, разрешающая способность и т.д.

Моделируется функционирование следующих датчиков: 5 датчиков модуля переднего обзора (камера видимого диапазона, инфракрасные камеры SWIR и LWIR диапазонов, лазерный локатор, радиолокатор переднего обзора) и 3 датчика модуля нижнего обзора (камера видимого диапазона, инфракрасная камера SWIR диапазона, радиолокационная станция зондирования подстилающей поверхности).

АРХИТЕКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ИМИТАТОРА ЗАКАБИННОГО ПРОСТРАНСТВА

На основе анализа задачи имитации закабинного пространства была предложена архитектура, представленная на рисунке 1.

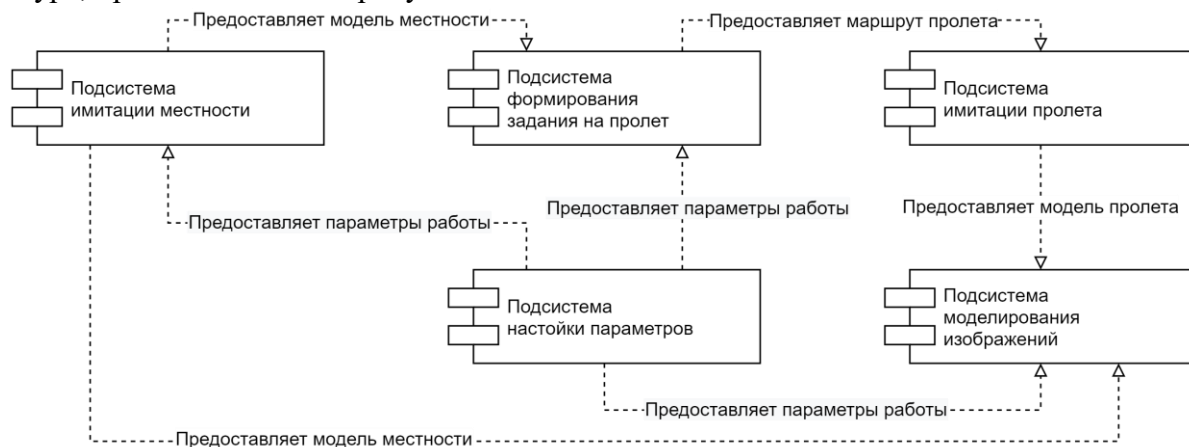


Рисунок 1 – Архитектура программного обеспечения имитатора закабинного пространства

Подсистема имитации местности обеспечивает формирование требуемой для целей моделирования окружающей обстановки. Ее основные функции: создание ландшафтов с определенными типами подстилающих поверхностей, расположение на местности различных объектов и задание их параметров, настройка погодных условий и условий видимости.

Основная функция подсистемы формирования задания на пролет – создание в интерактивном режиме маршрута движения летательного аппарата на выбранном участке местности.

Подсистема имитации полета отвечает за движение летательного аппарата с учетом сформированных местности, маршрута и заданных технических характеристик, а также за генерацию полетной информации.

Подсистема моделирования изображений позволяет генерировать данные с датчиков переднего и нижнего обзора.

Подсистема настройки параметров отвечает за установку значений различных характеристик моделируемой местности, летательного аппарата и используемых датчиков.

Для проведения моделирования и генерации данных пользователю с помощью вышеперечисленных подсистем требуется:

- а) создать местность с требуемыми типами подстилающих поверхностей и установленными на ней объектами;
- б) определить погодные условия и условия видимости на местности;
- в) сформировать на полученной модели местности полетное задание, указав основные точки маршрута полета летательного аппарата;
- г) при необходимости внести изменения в настройки технических характеристик датчиков и летательного аппарата.

Общая схема функционирования программного обеспечения представлена на рисунке 2. Сконструированная пользователем модель окружающей местности, задание на пролет и настройки системы имитации сохраняются в отдельные файлы, для их последующего использования в имитаторе полета, в ходе работы которого происходит генерация массивов выходных данных.

Таким образом, процесс функционирования имитатора закабинного пространства начинается с инициализации параметров генерации 3D-модели окружающего пространства. На данном этапе используются данные из файлов конфигурации с различными системными

параметрами и заданные пользователем параметры местности и объектов на ней. Затем с помощью полученных данных происходит генерация 3D-модели участка моделируемого пространства.

С учетом созданной модели и разработанного пользователем полетного задания производится инициализация параметров пролета, определяющая основные характеристики маршрута движения летательного аппарата.

После инициализации параметров следует процесс моделирования пролета, в ходе которой производится создание детальной модели движения, представляющей собой набор точек с характеристиками положения летательного аппарата.

В зависимости от набора использованных датчиков и их характеристик в каждой точке пролета генерируются выходные данные с датчиков, сохраняемые в указанном пользователем каталоге в памяти устройства.

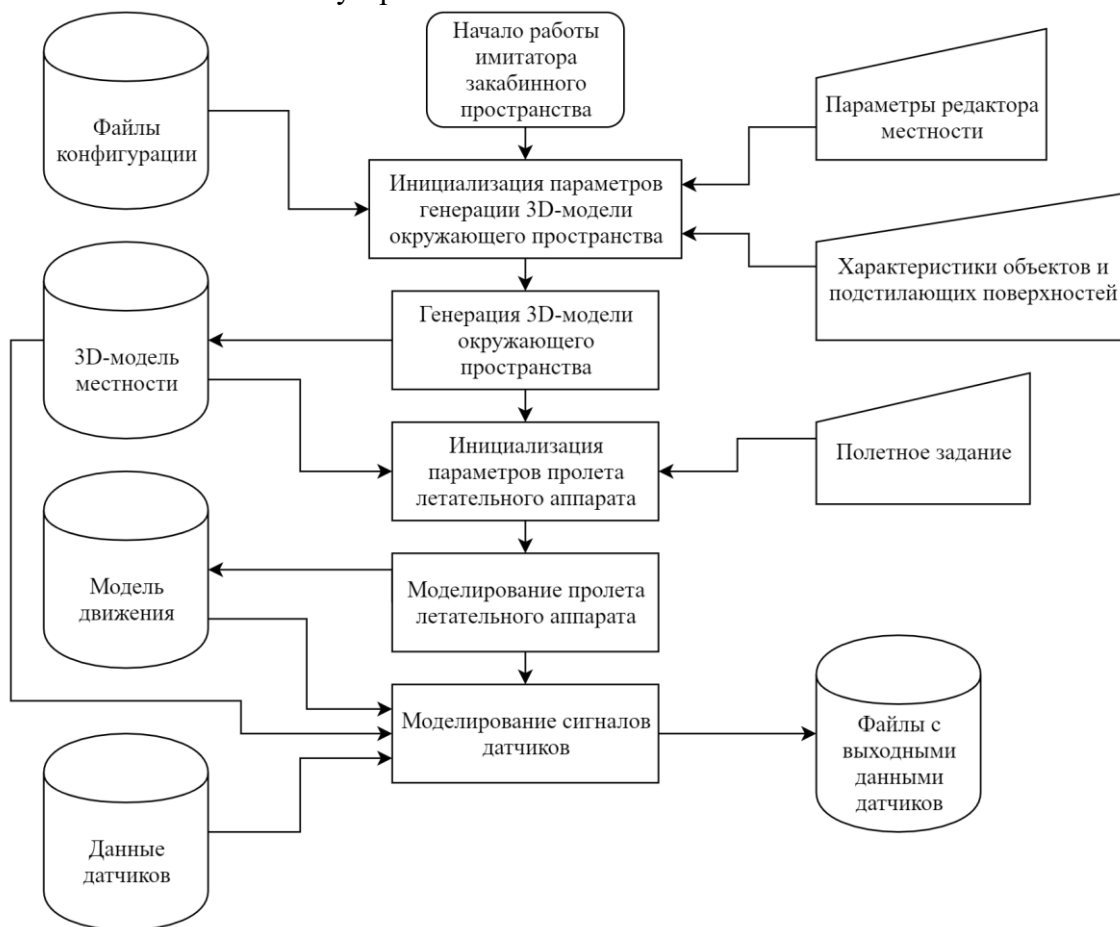


Рисунок 2 – Общая схема функционирования программного обеспечения имитатора закабинного пространства

Выходные данные с камер видимого и инфракрасного диапазонов, лазерных и радиолокаторов представляют собой наборы изображений в формате BMP.

Выходные данные с датчика радиолокационного зондирования подстилающей поверхности представляют собой наборы чисел, определяющих высоту летательного аппарата и толщины расположенных под ним поверхностей (снег и лед). Их сохранение происходит в текстовый файл.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДАТЧИКОВ

При формировании изображений камеры видимого диапазона (переднего и нижнего обзора) применяется рендеринг. В имитаторе закабинного пространства для формирования изображений камеры видимого диапазона используется встроенный математический аппарат компонента «камера» среды разработки Unity, в которой реализован имитатор.

Изображения, получаемые с помощью инфракрасных камер SWIR (ближнего инфракрасного) и LWIR (дальнего инфракрасного) диапазонов моделируются следующими способами:

- для SWIR-датчика, из изображения видимого диапазона выделяется красная составляющая и представляется в виде отсчетов яркости в диапазоне от 0 до 255, в результате чего получается изображение в градациях серого цветах

- для LWIR-датчика, для каждого объекта и подстилающей поверхности, исходя из заданных им температур, а также коэффициента экстинкции, рассчитывается интенсивность инфракрасного излучения, которая затем переводится в отсчеты яркости, после чего выполняется повышение контрастности изображения путем нормализации гистограммы.

Изображение лазерного локатора представляет собой двумерный массив вещественных чисел, соответствующих расстоянию. Массив формируется путем вычисления наклонного расстояния между точкой крепления датчика и i -й видимой точкой сцены в зоне обзора датчика.

Изображение радиолокатора переднего обзора представляет собой двумерный массив целых чисел, содержащий отсчеты яркости. Массив формируется путем пропорционального перевода суммы значений эффективной площади рассеяния (ЭПР) всех объектов и подстилающих поверхностей для каждого элемента разрешения радиолокатора в отсчеты яркости в диапазоне от 0 до $L/3$, где L – дальность обзора радиолокатора переднего обзора. В случае если в элементе разрешения находятся элементы местности с разным значением ЭПР, видимым считается тот, у которого значение ЭПР больше.

Радиолокатор зондирования подстилающей поверхности определяет толщину снега и льда в зоне обзора локатора путем вычисления средней разницы между расстоянием от ЛА до подстилающей поверхности и расстоянием от ЛА до снежной или ледяной поверхности, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный имитатор закабинного пространства способен снизить время разработки информационно-измерительных средств для летательных аппаратов, сократить расходы на проведение их тестовых запусков и большого количества летных испытаний. Это, в свою очередь, будет способствовать более быстрому внедрению новой аппаратуры летательных аппаратов и обеспечит повышение их безопасности.

Предложенные в работе архитектурные решения обладают рядом преимуществ и могут быть использованы при построении подобных программных систем.

В качестве направлений дальнейших исследований могут рассматриваться:

- создание имитаторов окружающей обстановки для других видов транспортных средств, оснащаемых различными датчиками;
- исследование и повышение качества методов моделирования отдельных датчиков;
- исследование вопросов распараллеливания и/или реализации на графических процессорах расчетных блоков программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухин И.Е. Основные направления разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов в сложных климатико-географических условиях и дефиците времени на принятие решения // Сб. науч. ст. по материалам IV Всероссийской науч.-практ. конф. «Академические Жуковские чтения» (23–24 ноября 2016 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – С. 141–145.
2. Брондз Д.С. Лазерно-телевизионный модуль в вертолетном комплексе обеспечения поисково-спасательных операций, проводимых в условиях Арктики

- // Сб. науч. ст. по материалам докл. V Международной НПК «АВИАТОР» (14–15 февраля 2019 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 97–102.
3. Гармаш В.Н. Обработка многоспектральной информации в вертолетном комплексе обеспечения поисково-спасательных операций // Сб. науч. ст. по материалам докл. V Международной НПК «АВИАТОР» (14–15 февраля 2019 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2019. – С. 197–201.
 4. Андросов В.А., Епатко И.В. Задачи и принципы построения стендово-имитационной среды для отработки интегрированных комплексов бортового оборудования // Радиотехника, 1996. – № 9. – С. 120–123.
 5. Исаев С.А., Кондратенков Г.С. Цифронатурные и летно-модельные методы испытания КБО // Радиотехника, 1996. – № 9. – С. 124–128.

Фролов Алексей Иванович

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой программной инженерии
Телефон: +7-961-627-05-50
E-mail: aifrolov@mail.ru

Санников Дмитрий Петрович

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Кандидат технических наук, заведующий лабораторией специального программного обеспечения
Телефон: +7-919-203-27-99
E-mail: sannikov@oreluniver.ru

Аврашков Павел Петрович

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории специального программного обеспечения
Телефон: +7-960-646-11-64
E-mail: avrashkov@mail.ru

Марочкин Максим Александрович

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Студент бакалавриата
Телефон: +7-910-301-94-45
E-mail: marmax199@gmail.com

Шорин Владислав Дмитриевич

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Студент бакалавриата
Телефон: +7-996-161-86-91
E-mail: kniger33@gmail.com

Игначёв Валерий Сергеевич

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Студент бакалавриата
Телефон: +7-953-291-78-12
E-mail: valeriy223@yandex.ru

Игначёв Денис Сергеевич

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Студент бакалавриата
Телефон: +7-950-692-84-85
E-mail: denizik1@mail.ru

Сапунов Михаил Алексеевич

Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Студент магистратуры
Телефон: 8-953-612-12-45
E-mail: mikestravel@yandex.ru

Петров Юрий Витальевич

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиоэлектронных систем управления
Телефон: +7-921-926-63-39
E-mail: petrov-i4@yandex.ru

Рудыка Станислав Анатольевич

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
Начальник НИЧ
Телефон: +7-931-369-60-44
E-mail: dillon2000@mail.ru

A.I. FROLOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, head of software engineering department*)

D.P. SANNIKOV (*Candidate of Engineering Sciences, head of special software laboratory*)

P.P. AVRASHKOV (*Candidate of physical and mathematical Sciences, senior researcher at the special software laboratory*)

M.A. MAROCHKIN (*Student*)

V.D. SHORIN (*Student*)

V.S. IGNACHEV (*Student*)

D.S. IGNACHEV (*Student*)

M.A. SAPUNOV (*Master student*)
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

Yu.V. PETROV (*Ph.D.; associate professor*)

S.A. RUDIKA (*Head of the research unit*)
Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov

SOFTWARE SIMULATOR OF THE AIRCRAFT'S OUTSIDE SPACE WITH THE ABILITY TO SIMULATE DATA FROM MULTISPECTRAL SENSORS

The article deals with the issues of synchronous modeling of the functioning of multi-spectral sensors of an aircraft during its flight over the terrain. A method of modeling based on the application of a software simulator of the aircraft's outside space is described. The formulation of the problem of simulation of the aircraft's outside space is performed. The architecture of the software simulator of the aircraft's outside space is proposed. Methods of modeling the functioning of visible, SWIR and LWIR cameras, laser and radio locators are defined.

Keywords: aircraft; aircraft's outside space; simulation; modeling; information and measuring equipment; terrain model; flight model.

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Muhin I.E. Osnovnye napravleniya razrabotki i sozdaniya integrirovannykh bortovykh sistem obespecheniya bezopasnosti poletov letatelnykh apparatov v slozhnykh klimatiko-geograficheskikh usloviyakh i defitsite vremeni na prinyatiye resheniya // Sb. nauch. st. po materialam IV Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. «Akademicheskiye Zhukovskkiye chteniya» (23–24 noyabrya 2016 g.). – Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2017. – S. 141–145.
2. Brondz D.S. Lazerno-televizionnyy modul v vertoletnom komplekse obespecheniya poiskovo-spatelnykh operatsiy. provodimyyh v usloviyakh Arktiki // Sb. nauch. st. po materialam dokl. V Mezhdunarodnoy NPK «AVIATOR» (14–15 fevralya 2019 g.). – Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2019. – S. 97–102.

3. Garmash V.N. Obrabotka mnogospektralnoy informatsii v vertoletnom komplekse obespecheniya poiskovo-spasatelnykh operatsiy // Sb. nauch. st. po materialam dokl. V Mezhdunarodnoy NPK «AVIATOR» (14–15 fevralya 2019 g.). – Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2019. – S. 197–201.
4. Androsov V.A., Epatko I.V. Zadachi i printsipy postroyeniya stendovo-imitatsionnoy sredy dlya otrabotki integrirovannykh kompleksov bortovogo oborudovaniya // Radiotekhnika, 1996. – № 9. – S. 120–123.
5. Isayev S.A., Kondratenkov G.S. Tsifronaturnyye i letno-modelnyye metody ispytaniya KBO // Radiotekhnika, 1996. – № 9. – S. 124–128.