

КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

С.А. Белокозь¹, Д.С. Деришев², Ю.Н. Золотухин¹, М.А. Золотухина¹, М.Н. Филиппов¹, А.П. Ян¹

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1, Россия

zol@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

² АО «НовосибНИАТ»
630051, Новосибирск, ул. Ползунова, 15, Россия
derishev@yandex.ru
тел: +7 (383) 279-06-64

Ключевые слова: стенд полунатурного моделирования, БПЛА.

Abstract

An architecture of the simulation stand for development and testing controlling algorithms and software for UAV onboard control systems is presented. This complex has a modular structure and allows hardware-in-the-loop tests and also can be used as simulation training system.

Введение

Летные испытания летательных аппаратов зачастую связаны с большим риском потери опытного образца, что является основной причиной недообследованности опасных режимов полета. Испытания на стенде полунатурного моделирования [1] является дополнительным промежуточным этапом между испытаниями в аэродинамической трубе и летными испытаниями. На стенде могут быть промоделированы взлетно-посадочные режимы и пространственные маневры с использованием отклонения вектора тяги, есть возможность отработки системы активного управления перегрузкой. Кроме того, стенд позволяет испытать летательный аппарат и систему управления в опасных режимах: сваливание, штопор и вывод из штопора, режимах установившегося плоского штопора, возникающих при выполнении энергичных маневров с угловыми скоростями крена и рыскания на больших углах атаки. Эксперименты на стенде полунатурного моделирования, в отличие от летных испытаний, легко воспроизводятся: есть возможность задания необходимых режимов полета и внешних возмущающих воздействий. Эксперимент может быть начат в определенном режиме и в любой момент остановлен для доработки.

Основные требования к СПМ:

- возможность работы в режиме реального времени;
- удобная система моделирования;
- удобная среда визуализации;
- модульная структура;
- возможность внешнего тестирования;
- возможность проверки сгенерированного кода (алгоритмов управления) до загрузки в контроллер.

1 Особенности реализации стенда полунатурного моделирования

Структурная схема изображена на рисунке 1; на ней представлены следующие основные элементы:

- АРМ моделирования (MATLAB/SIMULINK);
- АРМ визуализации (FlightGear);
- Макет НПУ (наземный пункт управления):
 - АРМ инженера;
 - АРМ пилота;
 - Пилотажно-навигационный комплекс;
- Сервоприводы.

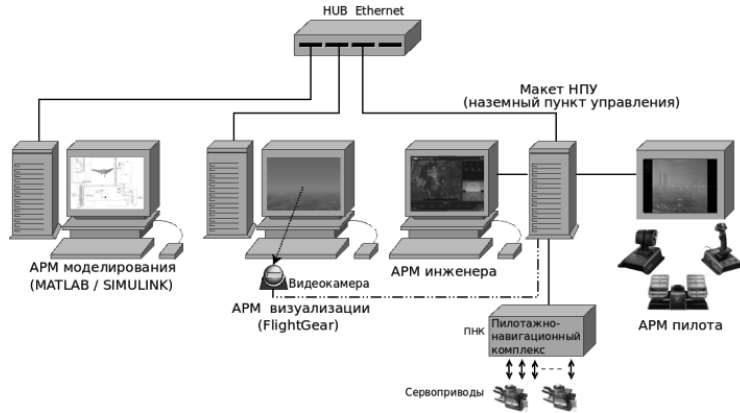


Рисунок 1 – Состав системы полунатурного моделирования

При реализации программного обеспечения стенда полунатурного моделирования использовано модульное построение с отдельными рабочими пространствами, которые могут быть расположены как в пределах одного компьютера, так и на нескольких компьютерах технологической локальной сети.

Разделение рабочих пространств дает возможность:

- использовать сложные модели летательных аппаратов и систем управления, требующие значительных вычислительных ресурсов компьютера;
- использовать современные системы визуализации;
- имитировать обмен командной и телеметрической информацией между пунктом управления и летательным аппаратом;
- позволяет работать с системой нескольким разработчикам одновременно.

Обмен данными между отдельными элементами стенда полунатурного моделирования (модель летательного аппарата, модель системы управления, система визуализации, макет наземного пункта управления) осуществляется при помощи нереляционной базы данных Redis (рисунок 2).

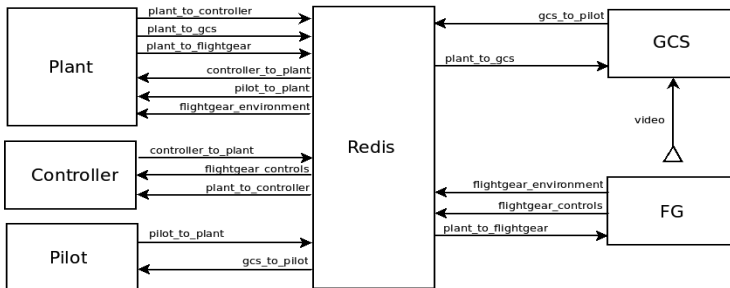


Рисунок 2 – Обмен данными между элементами стенда полунатурного моделирования

2 АРМ моделирования

Для моделирования аэродинамических характеристик, движения летательного аппарата, алгоритмов системы управления, в состав стенда включен АРМ моделирования. Это может быть одно или несколько рабочих мест (отдельно для модели летательного аппарата, отдельно для системы управления), оборудованных средой разработки MATLAB/Simulink с расширениями Aerospace Toolbox и Aerospace Blockset.

Расширение Aerospace Toolbox - это набор специальных инструментов для анализа и моделирования авиационных, космических, реактивных и турбореактивных систем. Содержит средства для преобразования координат, векторов, кватернионов и тензоров, функции для вычислений аэродинамических показателей, специальную графику и средства моделирования.

Набор блоков Aerospace Blockset основан на международных стандартах моделирования атмосферы, турбулентностей и гравитации. Вычислительные возможности имитационного моделирования пакета Simulink совместно с расширениями Aerospace Blockset и другими библиотеками позволяют создавать и рассчитывать сложные комплексные модели летательных аппаратов.

Ключевые возможности пакета:

- Моделирование динамики аэрокосмических объектов и их составных частей, включая двигательные установки, системы управления и приводы.
- Поддержка стандартов моделирования окружающей среды, включая моделирование атмосферы, силы тяжести, ветра и магнитных полей.
- Импорт аэродинамических коэффициентов из базы данных DATCOM.
- Преобразование координат, в том числе с использованием кватернионов.
- Инерциальные координатные системы, связанные с Землей, с учетом ее вращения.
- Анимационные блоки для вывода на экран движения систем с шестью и тремя степенями свободы, в том числе интерфейс для симулятора FlightGear.

В рамках работы с использованием блоков пакета Aerospace Blockset в среде MATLAB/SIMULINK создана динамическая модель летательного аппарата, модель системы штурвального управления, средства сопряжения с симулятором FlightGear и макетом наземного пункта управления. Модель летательного аппарата реализована в системе координат по ГОСТ 20058-80. Для описания аэродинамических свойств объекта использованы предварительные материалы, предоставленные АО «НовосибНИАТ». Построение модели позволяет воспользоваться возможностями пакета Aerospace Blockset для учета влияния окружающей среды (турбулентность атмосферы, характеристики ветровой обстановки, свойства используемой модели Земли).

Обеспечена возможность как ручного (дистанционного, fly-by-wire) управления движением летательного аппарата, так и от системы автоматического управления (САУ).

3 АРМ визуализации

В качестве среды графической визуализации использована программа-авиасимулятор FlightGear.

Помимо графического отображения режима полета ЛА, его перемещений и поворотов авиасимулятор FlightGear передает в MATLAB информацию о положении рулей управления. Для обмена информацией используются блоки Simulink, реализующие функции записи в базу данных и чтения из базы. Обмен информацией происходит в реальном времени.

FlightGear позволяет использовать режим, когда расчет динамических моделей ведется внешней программой или даже отдельным компьютером.

4 Модель наземного пункта управления

Модель НПУ состоит из АРМ пилота, осуществляющего непосредственное управление летательным аппаратом и АРМ инженера, который формирует полетное задание, контролирует данные телеметрии и параметры полета.

4.1 АРМ пилота

На АРМ пилота используется специальное программное обеспечение. Видеоизображение на АРМ пилота передается с помощью видеокамеры, направленной на экран АРМ визуализации. Данные для индикатора на лобовом стекле передаются из АРМ моделирования через СУБД redis. Пример видеокadra АРМ пилота приведен на рисунке 3.

АРМ пилота оборудован органами управления летательным аппаратом (Replica USAF A-10C Stick).

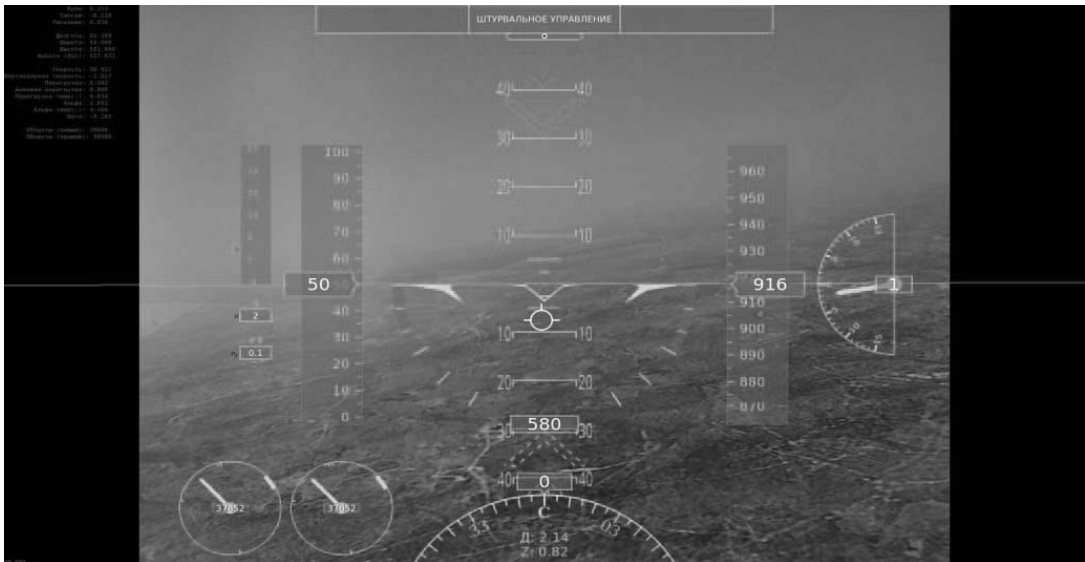


Рисунок 3 – Индикатор на лобовом стекле

4.2 АРМ инженера

В качестве базовой версии программного обеспечения на АРМ инженера использован пакет «QGROUNDCONTROL» (рисунок 4).

«QGROUNDCONTROL» - это наземная станция управления небольшими автономными беспилотными объектами.

Основные особенности:

- коммуникационный протокол с открытым исходным кодом MAVLink;
- поддержка операционных систем Windows / Linux / MacOS;
- 2D/3D карты (поддержка Google Earth) с перемещаемыми маршрутными точками;
- возможность изменения в полете маршрутных точек и бортовых параметров (в EEPROM);
- построение в реальном времени графиков и диаграмм показаний датчиков и данных телеметрии;
- ведение и архивирование журналов сигналов телеметрии;
- поддержка UDP (*User Datagram Protocol*) — протокола пользовательских датаграмм);
- поддержка индикации на лобовом стекле.

Программа может настраиваться путем добавления различных встраиваемых окон.

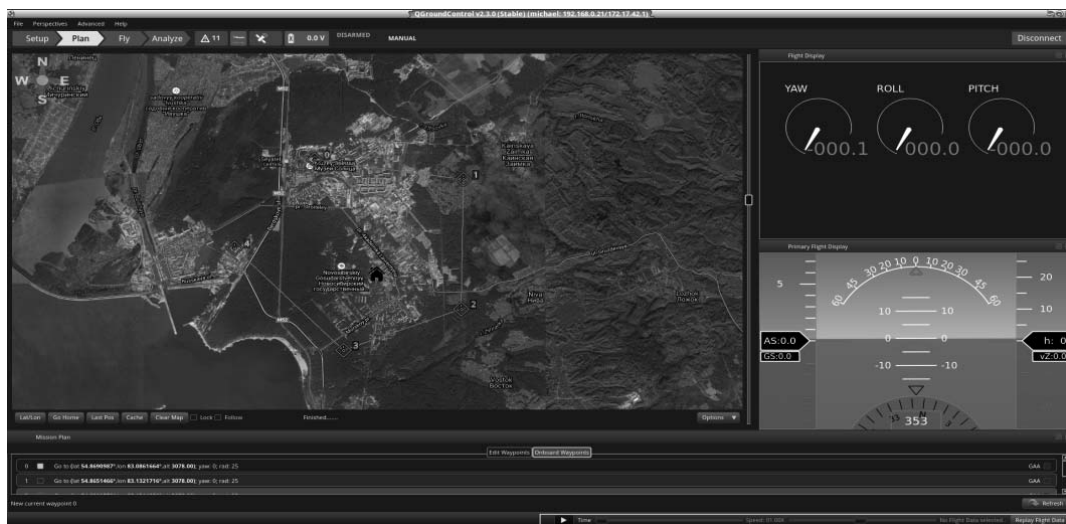


Рисунок 4 – Пример видеокadra АРМ инженера

5 СУБД REDIS

Redis (REmote DIctionary Server) — это нереляционная высокопроизводительная СУБД, хранящая базу данных в оперативной памяти, снабженная механизмами снимков и журналирования для обеспечения постоянного хранения. СУБД также предоставляет операции для реализации механизма обмена сообщениями в паттерне publish — subscribe[en]. С его помощью приложения могут создавать каналы, подписываться на них и помещать в каналы сообщения, которые будут получены всеми подписчиками. Поддерживает репликацию данных с основных узлов на несколько подчиненных (англ. master — slave replication). Также Redis поддерживает транзакции (последовательное выполнение всех операций, либо ни одной) и пакетную обработку команд (выполнение пакета команд, получение пакета результатов). Высокая производительность Redis обуславливается тем, что все данные хранятся в оперативной памяти. На Linux-сервере достигнут результат в 110 000 запросов SET и 81 000 запросов GET в секунду.

Заключение

Комплекс полунатурного моделирования позволяет:

- разрабатывать и тестировать сложные математические модели аэродинамики, динамики полета, алгоритмов систем управления;
- разрабатывать и тестировать программное обеспечение наземных пунктов управления;
- проводить испытания разработанных моделей и алгоритмов в различных режимах без риска потери опытного образца;
- заменять программные модули аппаратными средствами для тестирования (HIL);
- проводить доработку моделей и алгоритмов управления при сопровождающем моделировании [2] в процессе летных испытаний.

Кроме того, разработанный комплекс может быть использован в качестве базы для построения авиационного тренажера [3].

Список литературы

- [1] Ильиных В.В., Андреев С.В., Ключников А.В., Чертков М.С. Моделирование динамики полета беспилотного летательного аппарата в компьютеризированном имитационном стенде // труды международного симпозиума «Надежность и качество», том 1/2011. <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-dinamiki-polyota-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-v-kompyuterizirovannom-imitatsionnom-stende.pdf>.
- [2] Матвеев А.В., Махуков А.А. Сопровождающее моделирование в процессе летных испытаний беспилотных летательных аппаратов // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25461>
- [3] Лапшин Э.В., Гущина А.А. Имитация динамики полета и ее модельное представление // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», том 1/2007. <http://cyberleninka.ru/article/n/imitatsiya-dinamiki-poleta-i-ee-modelnoe-predstavlenie>.